

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-083321

(43)Date of publication of application : 30.03.2001

(51)Int.Cl.

G02B 5/30
// G02F 1/1335

(21)Application number : 2000-216152

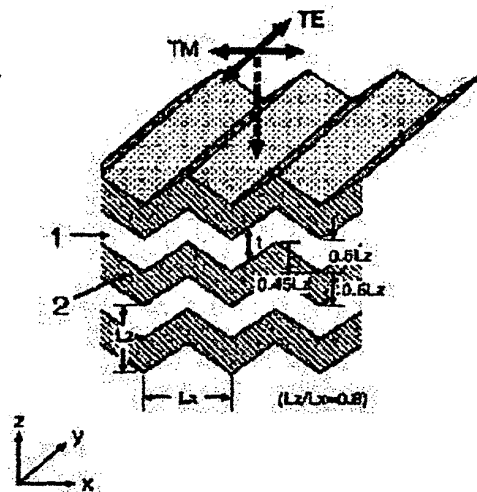
(71)Applicant : KAWAKAMI SHOJIRO

(22)Date of filing : 07.08.1998

(72)Inventor : KAWAKAMI SHOJIRO
ODERA YASUO
KAWASHIMA TAKAYUKI

(54) POLARIZER AND METHOD FOR ITS PRODUCTION

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To produce a polarizer comprising a two-dimensionally periodic structure whose period is about $1\ \mu\text{m}$ or below.SOLUTION: The polarizer comprises a two-dimensionally nearly periodic structure obtained by nearly periodically and alternately laminating two or more filmlike materials each having one-dimensionally nearly periodic ruggedness. For example, the polarizer comprises materials 1 and 2 different from each other in refractive index. The two-dimensionally periodic structure whose period is about $1\ \mu\text{m}$ or below is obtained by such an easy production method. The polarizer transmits incident light having a specified polarization plane and reflects the incident light having the polarization plane perpendicular to the specified plane.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開 2001-83321

(P2001-83321A)

(43) 公開日 平成13年3月30日(2001. 3. 30)

(51) Int. Cl. ⁷

識別記号

F I

テーマコード(参考)

G 0 2 B 5/30

G 0 2 B 5/30

// G 0 2 F 1/1335 5 1 0

G 0 2 F 1/1335 5 1 0

審査請求 未請求 請求項の数 4

O L

(全 7 頁)

(21) 出願番号 特願2000-216152(P2000-216152)

(62) 分割の表示 特願平10-257426の分割

(22) 出願日 平成10年8月7日(1998. 8. 7)

(71) 出願人 391006566

川上 彰二郎

宮城県仙台市若林区土樋236番地 愛宕橋
マンションファラオC-09

(72) 発明者 川上 彰二郎

宮城県仙台市若林区土樋236番地愛宕橋マ
ンションファラオC-09

(72) 発明者 大寺 康夫

宮城県仙台市若林区土樋1丁目6番15号コー
ポ金子201号

(74) 代理人 100088096

弁理士 福森 久夫

最終頁に続く

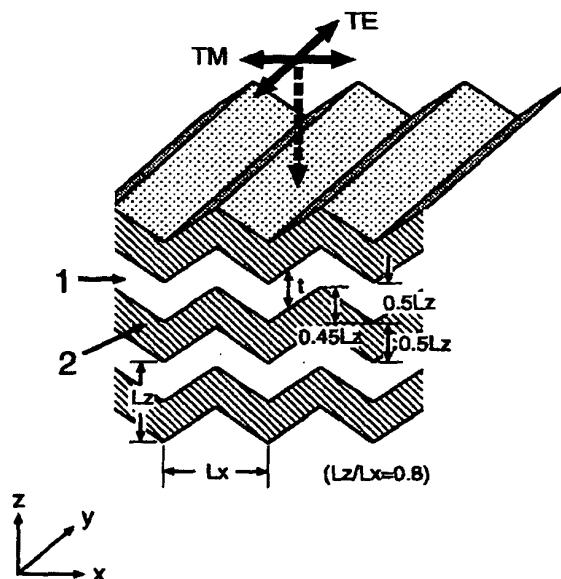
(54) 【発明の名称】 偏光子とその作製方法

(57) 【要約】

【目的】 周期が $1\mu\text{m}$ 程度ないしそれ以下の2次元周期構造からなる偏光子と、その作製方法を提供する。

【構成】 1次元的にほぼ周期的な凹凸を持つ2種類以上の膜状物質をほぼ周期的に順次に積層した構造を持つ。2次元的にほぼ周期的な構造体から成る。一例として、屈折率の異なる材料1と材料2から構成される。

【効果】 簡単な作製方法により、周期が $1\mu\text{m}$ 程度ないしそれ以下の2次元周期構造体が得られる。この構造によって、特定の偏波面を持つ入射光を透過させ、それに直交する偏波面を持つ入射光を反射させる偏光子として動作させることができる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 3 次元の直交座標 x 、 y 、 z において、屈折率の高いアモルファス透明材料と屈折率の低いアモルファス透明材料よりなる z 軸方向の多層周期的構造体であって、各透明材料ごとに積層の単位となる層の形状が x 軸方向に v 字形または方形または波形の周期構造で、周期が使用される光の波長以下の周期的凹凸構造を有し、 y 軸方向には一様な構造、あるいは x 軸方向より大きい長さの周期的または非周期的な凹凸構造を有し、 x y 面に垂直または斜めに入射し、電界が y 軸に直交する偏波あるいは x 軸と直交する偏波のどちらかが遮断域に含まれるような波長および入射方向の光に対して作用することを特徴とする偏光子。

【請求項 2】 請求項 1 記載の偏光子であって、 Si または TiO_2 を主成分とする高屈折率媒質と SiO_2 を主成分とする低屈折率媒質層を有する偏光子。

【請求項 3】 3 次元の直交座標 x 、 y 、 z において、屈折率の高い材料と屈折率の低い材料よりなる z 軸方向の多層周期的構造体であって、それらの材料はスパッタリングにより形成され、周期の少なくとも一部分にはスパッタエッチングが行われ、各透明材料ごとに積層の単位となる層の形状が x 軸方向に v 字形または方形または波形の周期構造で周期が使用される光の波長以下の周期的凹凸構造を有し、 y 軸方向には一様な構造、あるいは x 軸方向より大きい長さの周期的または非周期的な凹凸構造を有し、 x y 面に垂直または斜めに入射し、電界が y 軸に直交する偏波あるいは x 軸と直交する偏波のどちらかが遮断域に含まれるような波長および入射方向の光に対して作用することを特徴とする偏光子。

【請求項 4】 周期的な溝または周期的な線状突起または細長い突起または細長い凹みを有する基板の上に、 Si または TiO_2 を主成分とする高屈折率媒質と SiO_2 を主成分とする低屈折率媒質とを、少なくとも一部にドライエッチングを含む膜形成方法により周期ごとに形状を繰り返しつつ積層することで作製された偏光子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光の特質である偏光現象を利用した光学機器に用いられ、特定方向の直線偏光のみを透過させ直交する方向の直線偏波を反射させる偏光子およびその作製方法に関する。

【0002】

【従来の技術】偏光子とは、不特定方向に電磁界が振動する無偏光または楕円偏光を、ある特定方向の振動成分だけを透過させて直線偏光にする素子である。最も基本的な光素子の一つであり、光通信デバイス、光ディスプレイのピックアップ、液晶ディスプレイ、光応用計測など広く利用されている。動作形態は、(1) 不要な偏波を吸収させるもの、(2) 同一の光路で入射する直交する二つの偏波成分を別々の光路に分けるもの、の二つに大

別される。利用目的により、大きな開口面積、高性能、薄型などの特性を実現することが望まれており、産業的には安価に供給できることが重要である。

【0003】現在、実用的に使用されている偏光子は、

(1) の動作をするものでは高分子フィルムにヨウ素などの二色性分子を入れたものが一般的である。これは安価で大面積のものが得られるが、消光比が低く、温度安定性に劣るという欠点がある。

【0004】この問題を解決するため、安定性の高い材料を用いた偏光子が開発されている。即ち、ガラスなどの透明体の中に金属や半導体などの吸収体を、細線状あるいは薄膜状に一方に配列したものである。細線あるいは薄膜に平行な偏波成分は吸収あるいは反射され、それに直交する偏波は透過する。この種の偏光子は消光比が高く取れるのが特徴であるが、切断・研磨などの工程が必要となり、製造コストの低減が困難である。また大面積で且つ薄型にすることは困難である。

【0005】一方、(2) に複屈折単結晶を用いたものは、方解石など複屈折率の大きい材料からなる三角プリズムを 2 個貼り付けた構造をしている。代表的なものにはグラントムソンプリズムがある。この種の偏光子は一般に高い消光比、高い透過率が得られるが、大面積や薄型にすることが困難であり、材料が高価であるため価格も必然的に高くなる。

【0006】透明体のブリュースター角を利用したものでは、誘電体多層膜を用いた偏光ビームスプリッタが挙げられる。これは量産性に富むため低価格ではあるが、高い偏光度は得られない、小型化も困難である、使用波長帯域が狭い、などの問題点があり、限られた用途にしか使用されていない。

【0007】上述の各偏光子はそれぞれ実用されているが、一方、最近になって波長以下の周期をもつ透明体周期構造の伝搬特性の異方性を利用した偏光子が理論的に提案されている(浜野哲子、井筒雅之、平山秀樹、"2 次元フォトリソニック結晶を用いた偏光子の可能性、" 第 58 回応物秋季予稿集, paper2a-W-7, 1997、佐藤晃、竹部雅博、" 構造的複屈折による光学異方性多層膜、" Optics Japan '97, 講演予稿集, paper30pD01, 1997)。これらの構造は、いずれも透明母材中に、母材と屈折率の異なる透明体の細柱を 2 次元周期的に配列させたものである。周期が例えば半波長程度という条件を満たす構造であれば、柱に平行な偏波と垂直な偏波に対して、一方は内部を伝搬させ、他方は遮断させることができ、従って偏光子として動作させられる。しかし、実際にはこのような構造を工業的に作製する方法は見つかっていないし、実験例もない。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】本発明は上記の問題点を解決するためのものであり、本発明の目的は、小さい光路長で、優れた消光比と挿入損失特性を有し、大きな

開口面積も可能な、低価格の工業的に作製できる偏光子を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明の偏光子の背景となる技術について説明する。高屈折率媒質と低屈折率媒質からなる人工的な周期構造において、互いに直交する二つの偏波成分は、それぞれが独立な分散関係（周波数と波動ベクトルとの間の関係）を持っている。この二つの偏波成分は、本発明に関連の深い2次元周期構造では電界または磁界のいずれが長さの方向に平行であるかによってそれぞれTE波、TM波である。また一般の3次元周期構造でも固有モードはTE的な波とTM的な波に通常分類される。故に本発明においては便宜上TE波、TM波と呼ぶことにする。バンドギャップ、すなわち光が伝搬しない周波数帯域もTE波とTM波では異なる。ある周波数帯域において、一方の偏光モードが遮断され、他方の偏光モードが伝搬波となる場合がある。即ち、この周波数帯域においては、この周期構造体は一方の偏光を反射または回折し、他方の偏光を透過させる偏光子としての動作が可能である。また、消光比も周期数の増加によって十分高いものが得られる。

【0010】本発明の中心思想は、屈折率の異なる2種類以上の透明体からなり、3次元の直交座標系 $x y z$ において、積層の単位となる層の形状が x 軸方向に周期構造を有し、 y 軸方向には一様であるか、または x 軸方向より長い周期をもつ構造を有し、その形状を繰り返しつつ z 軸方向に層状に積層されている構造、即ち、周期的なひだ（うねり）を有する二種類以上の薄膜を多層化した構造において面型偏光子の特性が存在することを発見したこと、およびその構造を発明者らが開発してきた周期構造作製方法により作製する方法を発明したことである。光は面に垂直あるいは斜めに入射される。開口面積は基板の大きさで決まり、大きくすることは極めて容易である。また光路長は積層厚さで決るが、波長の数倍程度（数 μm ）で十分であり、従来の偏光子に比べて数桁単位で薄くすることができる。

【0011】一方、バイアス・スパッタリングに代表される堆積粒子の拡散入射とスパッタエッチングを併用した成膜法において、その堆積作用とエッチング作用を相互に制御することにより、表面の凹凸形状を繰り返しつつ層状に積層させる方法が可能である。このメカニズムは次の3つの効果、（1）堆積粒子の拡散入射により影となる凹部の堆積速度が遅くなる効果、（2）スパッタエッチングによる傾斜角約 50° から 60° の面においてエッチング速度が最大になる効果、（3）主にスパッタエッチングにより削られた粒子が基板の別の場所に再付着する効果、の適切な割合での重ね合せであると説明ができる（川上彰二郎、佐藤尚、川嶋貴之、”バイアススパッタ法で作製される3D周期ナノ構造の形成機構、”電子情報通信学会誌C-I, vol. J81-C-I, no. 2, pp. 108

- 109, 1998年2月）。

【0012】この技術を用いることで、周期的な溝列を形成した基板上に、二種類の透明材料からなる薄膜を複雑な位置合わせを一切行わずに位置の等しい凹凸形状を繰り返しつつ周期的に積層することができる。即ち、この技術を用いることで本発明の偏光子を容易に作製することができる。

【0013】以上のことから、本発明の偏光子は、小さい光路長で、優れた消光比と挿入損失特性を有し、大きな開口面積も可能で、低価格で提供することができる。

【0014】

【発明の実施形態】図1は、本発明の偏光子の構造を示している。以下に図1を用いて本発明の偏光子を説明する。

【0015】周期的な溝あるいは線状突起列に、透明で高屈折率の媒質と低屈折率の媒質とを界面の形状を保存しながら、交互に積層する。 x 方向と z 方向に周期性があり、 y 方向には本実施例では一様な構造である。あるいは、 x 軸方向より大きい長さの周期的または非周期的な構造に変更しても動作機構は類似している。このようにして得られた周期構造体に z 方向から無偏波光または楕円偏光を入射する。溝列と平行な偏波即ち y 偏波と、それに直交する偏波即ち x 偏波とに対して、TEモード、TMモードの光が周期構造体の内部に誘起される。しかし、光の周波数が、TEモードまたはTMモードのバンドギャップの中にあれば、そのモードは周期構造体の中で伝搬することができず、入射光は反射または回折される。一方、光の周波数がエネルギーバンド内にあれば、周期構造体の中を光は波動ベクトルを保存しながら透過する。従って面型の偏光子として動作する。

【0016】本発明の偏光子では、溝列の周期 L_x 、積層方向の周期 L_z を制御することで、TEモード、TMモードのバンドギャップが生じる波長帯域を任意に変えることができる。即ち偏光子として動作させる波長帯域を任意に設定することが可能である。

【0017】また低屈折率媒質としては SiO_2 を主成分とする材料が最も一般的である。 SiO_2 は透明波長領域が広く、化学的、熱的、機械的にも安定であり、成膜も容易に行なえる。高屈折率材料としては、 TiO_2 などの酸化物や、 Si 、 $GaAs$ などの半導体を使用できる。 TiO_2 などは透明波長範囲が広く、可視光領域でも使用できる。一方、半導体は、近赤外域に限定されるが、屈折率が大きい利点がある。

【0018】ところで、多目的の偏光子としては、広い周波数帯域で、使用することが望ましい。高屈折率媒質層と低屈折率媒質層の形状を適切に決定することにより、偏光子としての使用周波数帯域を広くとることができる。逆に、特定のレーザ光のような単色の光に対しては、高屈折率媒質と低屈折率媒質の形状に対する自由度は大きく、成膜において、繰り返しが容易な形状を選択

することができる。

【0019】以下、実施例において、層の形状と繰り返し構造および、その作製方法を示す。

【0020】

【実施例】（実施例1）図1は、本発明の実施例の構造を示す図である。この図において、符号1はアモルファス SiO_2 の層であり、符号2はアモルファス Si の層である。 x 軸方向の周期 L_x は $0.4 \mu\text{m}$ 、 z 軸方向の周期 L_z は $0.32 \mu\text{m}$ である。 SiO_2 層および Si 層は厚さ t をわずかに変化させながら、周期的に折れ曲がった形状をなしている。次に、その作製方法を説明する。まず、基板上に電子ビームリソグラフィとドライエッチングにより周期的な溝を作製した。図2が、その模式図である。符号3は石英ガラス基板、符号4は無反射コーティング層、符号5は周期的な溝の部分である。一般には周期構造の寸法の選択により、4、5は基板と異なる材料から選定するが、基板と同一の材料のままその上に溝を形成することもできる。ここでは後者の例を示す。溝の幅は $0.4 \mu\text{m}$ 、深さは $0.2 \mu\text{m}$ 、横方向の周期は $0.4 \mu\text{m}$ である。この基板上に、 SiO_2 および Si のターゲットを用い、バイアス・スパッタリング法により、 SiO_2 層と Si 層を交互に積層した。そのとき、各層の x 軸方向に周期的な凹凸の形状を保存しながら成膜を行なうことが肝要である。その条件は次のとおりであった： SiO_2 の成膜に対しては、 Ar ガス圧 1.9mTorr 、ターゲット高周波電力 400W 、基板高周波電力 60W ； Si の成膜に対し、 Ar ガス圧 3.6mTorr 、ターゲット高周波電力 400W であった。 SiO_2 と Si の層を、10層ずつ堆積した。

【0021】この条件において、図2に示された矩形の溝を有する基板の上に、図1に示された積層構造が生成される理由は、次に述べる3要素の重ね合わせによって説明することができる：（1）ターゲットからの中性粒子の分散入射による堆積；（2） Ar イオンの垂直入射によるスパッタエッチング；（3）堆積粒子の再付着である。

【0022】図3aと図3bは、このようにして得られた周期構造体における、波長 $1.0 \mu\text{m}$ でのTE波とTM波に対する透過光の近視野での強度分布を示す図である。横軸は基板ウエハ上の位置を示す。中央部分が偏光子部分であって、その両側は、基板ウエハが溝を持たず、 Si と SiO_2 の平行層が堆積された部分である。縦軸は、基板ウエハ上の各点における透過光強度である。偏光子部分はTE波をほとんど遮断していることがわかる。一方、TM波に対しては、両側の溝がない基板上に堆積された膜の部分と偏光子部分において、透過光強度の差は微小である。言い換えると、偏光子部分に無反射コーティングを施せば、微小な損失で、TM波を透過させることができる。

【0023】図4に、この周期構造体における周波数と

波動ベクトルの関係を周期的境界条件を用いたFDTD法（有限差分時間領域法）により計算した結果を示す。FDTD法によるフォトニック結晶のバンド構造と光透過特性の解析はS.Fanらにより、Physical Review B, vol. 54, no. 16, pp. 11245-11251 (1996年)において報告されているとおりである。図4において、横軸は相対値で表した波動ベクトルの大きさであり、縦軸は相対値で表した周波数 L_x/λ である。ここで、 λ は入射光の波長、 k_z は波動ベクトルの z 成分である。実線と破線は、それぞれTE波とTM波における分散曲線を示す。ここで $L_x = 0.4 \mu\text{m}$ 、波長 $1 \mu\text{m}$ より、周波数 $L_x/\lambda = 0.4$ となる。この図からわかるように、 $L_x/\lambda = 0.4$ の直線はTE波の分散曲線（実線）とは交わらず、TM波の分散曲線（破線）とは交わる。これはTE波は遮断・反射され、TM波は透過することを意味する。すなわち、この周期構造体は周波数 L_x/λ が 0.39 から 0.43 の間に位置する符号6の周波数帯でTM波を透過させる偏光子として作用している。

【0024】（実施例2）本実施例では、各誘電帯の層の厚さの面内均一性や溝の形状、 L_z/L_x の比の値などのパラメータが実施例1に示すものから変化しても優れた偏光子特性が得られることを例示する。

【0025】図5は、本発明の他の実施例の構成を示す図である。符号7はアモルファス SiO_2 層であり、符号8はアモルファス Si 層である。 x 軸方向の周期 L_x は $0.4 \mu\text{m}$ 、 z 軸方向の周期 L_z は $0.32 \mu\text{m}$ である。 SiO_2 層は厚さ t を $0.9 L_z$ と $0.3 L_z$ の間で変化させながら、そして、 Si 層は厚さを $0.1 L_z$ と $0.7 L_z$ の間で変化させながら、周期的に折れ曲がった形状をなしている。積層膜の作製において、基板は実施例1の場合と同じであるが、 SiO_2 層および Si 層を生成するバイアス・スパッタリングの条件が異なっている。

【0026】この周期構造体における周波数と波動ベクトルの関係をFDTD法により、計算した結果を図6に示す。横軸は相対値で表した波動ベクトルの大きさであり、縦軸は相対値で表した周波数である。実線と破線は、それぞれTE波とTM波における分散曲線である。この図からわかるように、第1の実施例の場合よりも、偏光子として作用する周波数帯が広がっている。ところで、ひとつのバンドギャップに着目したとき、単一の光周波数で使用する偏光子に対しても、その周波数幅は広いことが望ましい。なぜなら、バンドギャップの端から十分に離れていない周波数においては、消光比を大きくとるために必要な z 方向の周期数が増大するからである。

【0027】第1と第2の実施例において、 z 軸方向と x 軸方向の繰り返し周期の比 L_z/L_x は 0.8 であったが、FDTD法による他の計算結果から 0.2 程度であっても、偏光子としての作用が可能であることがわか

っている。また x 方向の周期 L_x は、通常の偏光子として使用する場合には、光の波長以下程度に選ばれるが、一方の偏光をまっすぐに透過させ、他方の偏光を回折させるための偏光素子においては、光の波長よりも長い周期 L_x を選択するとよいことがわかっている。さらに、溝は y 軸方向に必ずしも一樣である必要はなく、x 軸方向の溝の幅と間隔に対して、異なる周期構造を持ってもよく、あるいは y 方向に充分長いランダムな長さの溝であってもよいことが、他の計算の結果、わかっている。

【0028】ところで、今回は、単位となる層の形状を繰り返しつつ積層する手段として、バイアス・スパッタリング法を用いたが、堆積プロセスとスパッタリングエッチングのプロセスを同時でなく時間的に分離した方法を加えることにより、積層の単位となる層の形状の設計自由度を大きくとることができる。さらに、低屈折率媒質としては、アモルファス SiO_2 以外にも、パイレックス（登録商標）などの光学ガラスを用いることができる。一方、高屈折率媒質としては Si 以外にも、 TiO_2 、 Ta_2O_5 などを用いることもできる。基板の溝の断面形状は、今回、V 形であったが、矩形の溝であってもよいことは明らかである。また、バイアス・スパッタリングの条件を適切に選択すれば、多様な溝の断面形状が可能である。

【0029】このようにして作製した積層膜を偏光子として使用するためには、表面と基板の反対側の面に無反射コーティングを施した後、切断すればよい。多数の素子を一括して作製できるだけでなく、研磨が不要であり、切断工程が簡易である。その結果、低価格の偏光子を提供することができる。また、基板を除く積層膜の厚さは数ミクロンであり、垂直入射または小さい入射角での使用が可能である。それゆえ、小型の光通信用アイソレータなどへの、広範な応用が可能である。また、光サーキュレータなどに用いる偏光分離素子として使用する場合には、入射光に対して大きく傾けて使用する場合は

あるが、この場合も切断面を光が透過することはないので、研磨が不要である。

【0030】

【発明の効果】本発明のスパッタリングエッチング作用を含む成膜方法によって作製した偏光子は、光透過方向の厚さが微小で、1 回の成膜プロセスで大面積の積層膜が得られ、個々の素子を作製するときに、研磨が不要であり、切断が容易であるという特徴を備えている。他方、使用する波長域に応じて、優れた偏光特性を持たせる設計が可能である。このような偏光子は、光アイソレータ用の偏光子として最適である。他にも光サーキュレータ、光スイッチなど工業的用途は広く、従来の偏光子を置き換えることが可能である。

【図面の簡単な説明】

【図 1】第 1 の実施例の構造を示す図

【図 2】表面に溝を有する基板を示す図

【図 3】図 3 a は、TE 波に対する透過光の近視野における強度分布を示す図 図 3 b は、TM 波に対する透過光の近視野における強度分布を示す図

【図 4】第 1 の実施例における周波数と波動ベクトルの関係を示す図

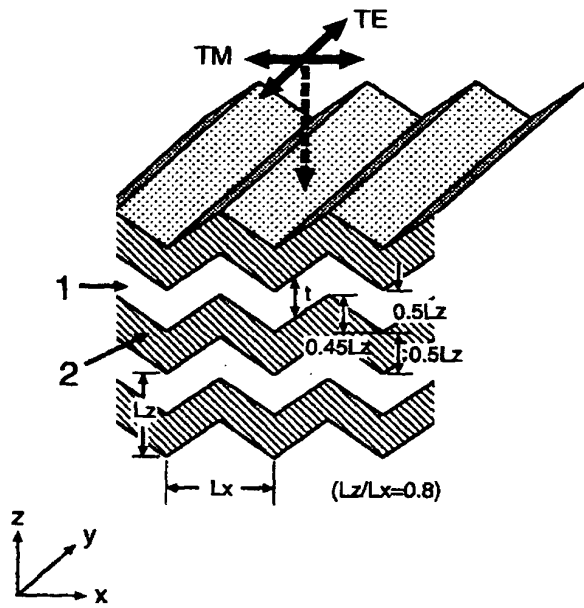
【図 5】第 2 の実施例の構造を示す図

【図 6】第 2 の実施例における周波数と波動ベクトルの関係を示す図

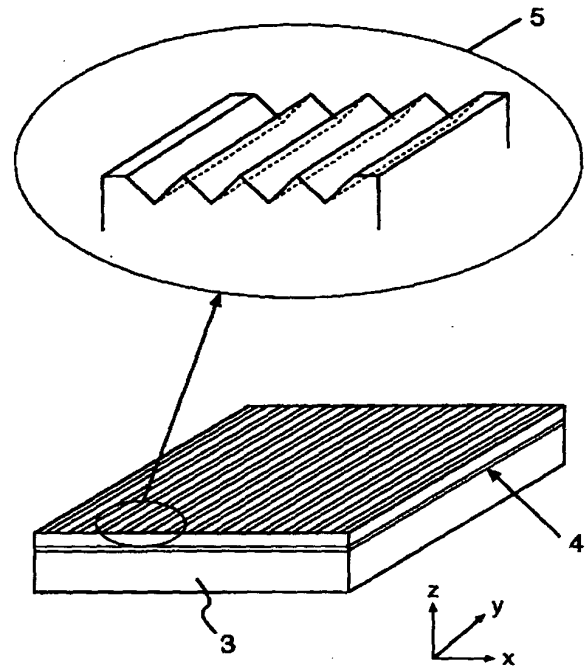
【符号の説明】

- | | |
|---|------------------------------|
| 1 | SiO_2 層 |
| 2 | Si 層 |
| 3 | 基板 |
| 4 | 無反射コーティング層 |
| 5 | 周期的な溝 |
| 6 | TM 波を透過させる偏光子として作用する周波数帯のひとつ |
| 7 | SiO_2 層 |
| 8 | Si 層 |

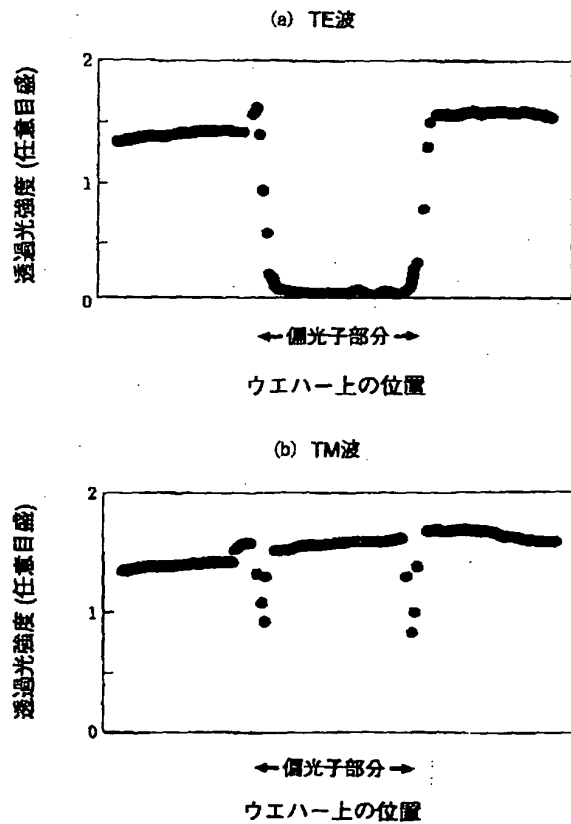
【図1】



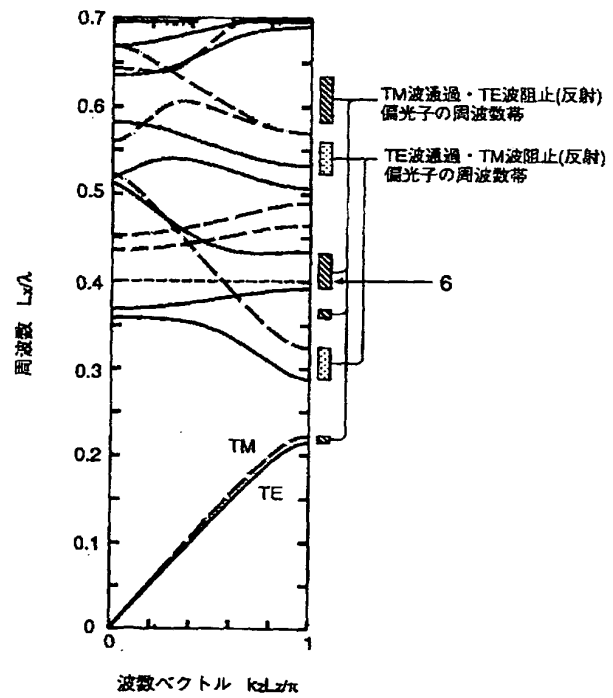
【図2】



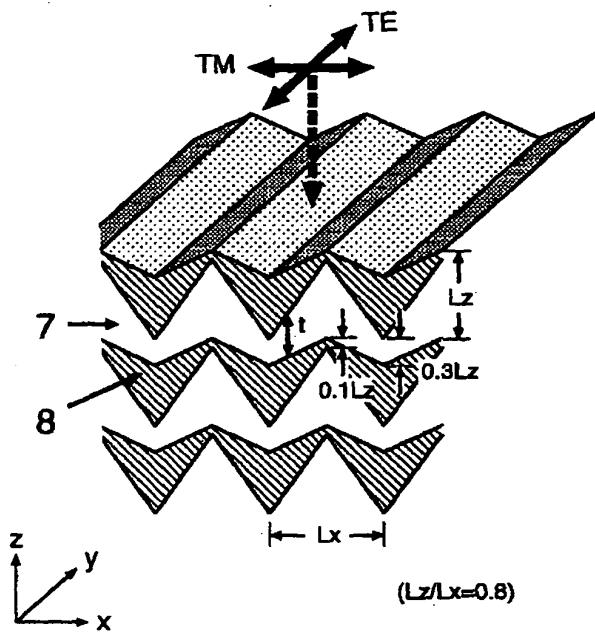
【図3】



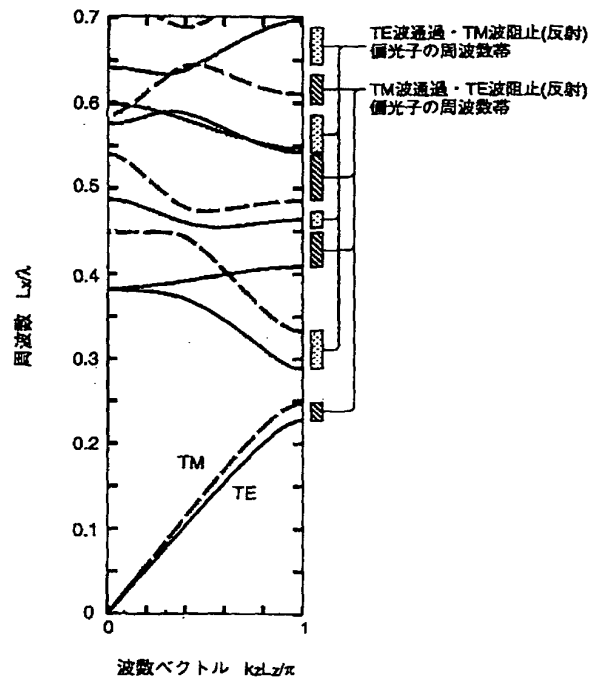
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 川嶋 貴之
宮城県仙台市青葉区川内三十人町45番5号
ル・ヴィラージュ203号